



REC'D 23 JAN 2004

WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 60 465.7

Anmeldetag: 21. Dezember 2000

Anmelder/Inhaber: MTU Aero Engines GmbH, 80995 München/DE

Bezeichnung: Reibschweißvorrichtung

IPC: B 23 K 20/12

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

BEST AVAILABLE COPY

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 13. Januar 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Wallner

Reibschweißvorrichtung

Die Erfindung betrifft eine Reibschweißvorrichtung für das stoffschlüssige Verbinden von Bauteilen, gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

5

Reibschweißvorrichtungen sind in sehr unterschiedlichen Ausführungen bekannt. Ein Unterscheidungskriterium ist das zur Anwendung kommende, kinematische Prinzip. Im vorliegenden Fall geht es um Vorrichtungen, bei denen von zwei zu verbindenden Bauteilen eines statisch gehalten, das andere oszillierend, d.h. periodisch hin und her, bewegt und dabei gegen das statische Bauteil gedrückt wird. Die periodische Bewegung verläuft parallel zu den vorgesehenen Schweißflächen und wird von einem sogenannten Oszillator erzeugt. Das Anpressen erfolgt senkrecht zu den Schweißflächen mittels einer geeigneten Stauchvorrichtung. Wegen der hohen Anpress- und Reibungskräfte wird das bewegte, in der Regel kleinere Bauteil in einer stabilen Kassette gehalten, welche meist nur die Schweißzone freilässt. Die oszillierende Bewegung kann auf gerade und/oder gekrümmter Bahn erfolgen, z.B. auf einem Teil eines Kreisbogens. Bei der geradlinigen Variante wird häufig die Bezeichnung „lineares Reibschweißen“, abgekürzt „LRS“, verwendet. Im Hinblick auf die hohen dynamischen Belastungen müssen alle Elemente einer Reibschweißvorrichtung besonders robust, formstabil und spielfrei ausgeführt sein, was insbesondere beim Reibschweißen größerer Bauteile aus hochfesten Metallen gilt. Wichtig sind weiterhin präzise, reproduzierbare und variierbare Reib- und Stauchbewegungen mit hoher Positioniergenauigkeit am Ende des dynamischen Reibvorganges. All diese Kriterien haben über Jahre der Entwicklung dazu geführt, dass sich mechanische und hydraulische Varianten sowie Kombinationen aus beiden zur unmittelbaren Erzeugung der benötigten Kräfte und Bewegungen durchgesetzt haben. Es versteht sich, dass die entsprechenden Antriebe auch Elektromotoren, elektronische Steuerungen und Regelungen, d.h. elektrische und elektronische Elemente umfassen.

30

Die europäische Patentschrift 0 513 669 B1 schützt ein Reibschweißverfahren zur Beschaukelung eines Schaufelträgers für Strömungsmaschinen einschließlich der benötigten Vorrichtung bzw. Vorrichtungs-elemente. Die reale Ausführung dieser Reibschweißvorrichtung arbeitet mit einem elektromotorisch angetriebenen,

mechanischen Oszillator nach einem Exzenterprinzip sowie mit einer elektrohydraulisch druckbeaufschlagten, hydraulischen Stauchvorrichtung.

Bei mechanischen Oszillatoren ist die maximale Bewegungsfrequenz auf Werte unter
5 100 Hertz (Hz) begrenzt. Bei hydraulischen Oszillatoren liegt die maximale Frequenz
über 100Hz aber noch unter 150 Hz. Nach der Gleichung Leistung = Kraft x
Geschwindigkeit ist die Reibleistung proportional zur Reibkraft, zur Bewegungs-
amplitude und zur Bewegungsfrequenz. Die Reibkraft ergibt sich aus der Normalkraft
und dem Reibwert. Bei vorgegebener Amplitude, vorgegebener Frequenz (siehe obige
10 Maximalwerte) und vorgegebenem Reibwert lässt sich die Reibleistung nur über die
Normalkraft/Anpresskraft erhöhen bzw. beeinflussen. Bei vorgegebener Reibleistung
führen die relativ niedrigen Frequenzen der mechanischen und hydraulischen
Oszillatoren zu entsprechend hohen Anpresskräften, die von der Stauchvorrichtung
aufzubringen sind. Hohe Kräfte erfordern mechanisch besonders stabile und
15 massive, d.h. schwere Komponenten für die Reibschweißvorrichtung.

Angesichts der bekannten Lösungen und ihrer Nachteile besteht die Aufgabe der
Erfindung darin, eine Reibschweißvorrichtung für das stoffschlüssige Verbinden von
Bauteilen mit periodischer Bewegung eines Bauteils bereitzustellen, die durch
20 genauere und besser reproduzierbare Funktion zu geometrisch exakteren
Integralbauteilen führt und die durch höhere Bewegungsfrequenzen und geringere
Reibkräfte die Fertigung filigraner Konstruktionen ermöglicht, wobei im
Schweißbereich leichtere und kleinere, platzsparendere Vorrichtungselemente
verwendbar sind.

25 Diese Aufgabe wird durch die in Patentanspruch 1 gekennzeichneten Merkmale
gelöst, in Verbindung mit den gattungsbildenden Merkmalen in dessen Oberbegriff.
Erfindungsgemäß umfasst der Oszillator zwei oder eine höhere gerade Anzahl an
Piezoaktuatoren, die paarweise zumindest annähernd auf einer Wirkungslinie liegen.
30 Die Piezoaktuatoren üben von gegenüberliegenden Seiten Druckkräfte auf die
Kassette mit dem bewegten Bauteil aus, so dass eine definierte Vorspannung
realisierbar ist, und die periodische Reibbewegung praktisch spielfrei abläuft. Über
die elektrische Spannungssteuerung/-regelung der Piezoaktuatoren mit der
Möglichkeit, jeden einzelnen Aktuator individuell zu beaufschlagen, lassen sich die
35 mechanische Vorspannung der Kassette, die Bewegungsfrequenz, die

Bewegungsamplitude und die Nullpunktslage der Bewegung einschließlich der Endposition am Ende des Schweißvorganges sehr genau und reproduzierbar wählen. Die Erfordernis aufwendiger Nacharbeit zum Ausgleich geometrischer Ungenauigkeiten der verschweißten Einheit, z.B. durch NC-Fräsen, wird dadurch stark reduziert bzw. eliminiert. Infolge der reduzierten Reibkräfte, einer kleineren und leichteren Kassette etc., lassen sich auch filigrane, mechanisch empfindliche Blisks (Bladed Disks) mit eng stehenden Schaufeln durch Reibschweißen fertigen und instandsetzen. Dabei können die Naben/Scheiben der Rotoren optimal an die Betriebslasten angepasst und weitgehend fertigbearbeitet sein und müssen nicht mehr im Hinblick auf die Reibschweißlasten überdimensioniert bzw. mit erheblichem, später zu entfernenden Aufmaß versehen werden.

In den Unteransprüchen sind bevorzugte Ausgestaltungen der Reibschweißvorrichtung gemäß Hauptanspruch gekennzeichnet.

Die Erfindung wird anschließend anhand der Figuren noch näher erläutert. Dabei zeigen in stark vereinfachter, nicht maßstäblicher Darstellung:

Figur 1 eine axiale Teilansicht eines Schaufelträgers mit einer daran zu befestigenden Schaufel

Figur 2 die Teilansicht gemäß Figur 1 ergänzt um eine Reibschweißvorrichtung,

Figur 3 eine radiale Teilansicht des Schaufelträgers, der Schaufel und der Reibschweißvorrichtung gemäß Figur 2,

Figur 4 eine tangentiale Teilansicht eines Schaufelträgers, einer Schaufel und einer Reibschweißvorrichtung mit vier Piezoaktuatorpaaren,

Figur 5 eine Teilansicht eines Piezoaktuators mit einer Blattfederanordnung und

Figur 6 eine Anordnung von Piezoelementen

Figur 1 zeigt in axialer Ansicht einen Teil eines für einen Rotor einer Turbomaschine vorgesehenen Schaufelträgers 4, an dem eine Schaufel 3 durch Reibschweißen befestigt werden soll. Die oszillierende Reibbewegung soll hier quer zur Längsmittelachse des Schaufelträgers 4 erfolgen, was durch einen horizontalen Doppelpfeil für die Reibkraft F_r symbolisiert ist. Dabei wird nur die Schaufel 3 bewegt, der Schaufelträger 4 wird statisch gehalten. Die Scheißflächen 5, 6 werden von einer senkrecht zu diesen gerichteten Stauchkraft F_s aufeinandergepresst,

wobei die Stauchkraft F_s über die bewegte Schaufel 3 in die Schweißzone 7 geleitet wird. Der von oben auf die Schaufelspitze weisende Kraftpfeil hat keine Bedeutung für die tatsächliche Art der Krafteinleitung in die Schaufel 3. Zu bevorzugen ist sicher eine Krafteinleitung mit einer möglichst gleichmäßigen Belastung eines Großteils der Schaufeloberfläche durch Reib- bzw. Formschluss.

Figur 2 zeigt zusätzlich zu den reibzuschweißenden Bauteilen 3, 4 eine erfindungsgemäße Reibschweißvorrichtung 1, wobei zum besseren Verständnis auch die Figur 3 heranzuziehen ist. Die Schaufel 3 ist zur Übertragung der beachtlichen Kräfte weitgehend vollständig von einer mechanisch stabilen Kassette 11, vorzugsweise aus Stahl oder Hartmetall, umschlossen, deren Innenkontur bestmöglich an die Schaufelkontur angepasst ist. Die Kassette 11 besteht aus zwei oder mehr, miteinander verschraubten Teilen mit der Schaufelgeometrie angepassten Trennfugen. Neben der Kassette 11 sind der eine definierte, periodische Reibbewegung parallel zu den Schweißflächen 5, 6 erzeugende Oszillator 8 und die eine definierte Stauchkraft und Zustellbewegung erzeugende Stauchvorrichtung 10 wesentlich Elemente der Reibschweißvorrichtung 1. Im vorliegenden Beispiel arbeiten sowohl der Oszillator 8 als auch die Stauchvorrichtung 10 nach dem piezoelektrischen Prinzip, d.h. mit durch elektrische Gleichspannung bewirkter Längenänderung von Piezoelementen. In Figur 1 sind zwei horizontale, auf einer Wirkungslinie liegende, von links und rechts an der Kassette 11 angreifende Piezoaktuatoren 12, 13 des Oszillators 8 sowie ein vertikal von oben an der Kassette 11 angreifender Piezoaktor 16 der Stauchvorrichtung 10 zu erkennen. Die Kraftübertragungsstellen zwischen den Piezoaktuatoren und der Kassette 11 werden, je nach Relativbewegung, in der Regel einen oder mehrere Freiheitsgrade aufweisen, z.B. für translatorische Verschiebungen und/oder Schwenkbewegungen. Dabei können Gleit- und/oder Wälzlager zur Anwendung kommen. Im vorliegenden Fall kann beispielsweise ein Schwenkgelenk mit einem Freiheitsgrad zwischen dem Piezoaktor 16 und der Kassette 11 angeordnet sein. Die Ausführung der Kraftübertragungsstellen liegt im Bereich des üblichen Fachwissens und ist kein unmittelbarer Gegenstand der Erfindung. Die eingezeichneten Doppelpfeile deuten die synchrone, gleichgerichtete Bewegung der Piezoaktuatoren 12 und 13 an.

Anhand von Figur 3 wird das Erfindungsprinzip noch deutlicher. In dieser radialen Teilansicht des Schaufelträgers 4 sowie der Schaufel 3 erkennt man das in der

Kassette 11 eingeschlossene Schaufelprofil sowie die daran angepassten Trennfugen der Kassette 11. Die Längsmittelachse X des Schaufelträgers, d.h. seine spätere Rotationsachse, verläuft in dieser Ansicht vertikal. Es versteht sich, dass bei einer Neubeschaukelungen des Schaufelträgers 4 eine Vielzahl von nahe beieinander-

5 stehenden Schaufeln 3 am Umfang zu befestigen ist, von denen hier der Übersichtlichkeit halber nur eine wiedergegeben ist. Daher muss die Kassette 11 so gestaltet sein, dass sie zwischen bereits vorhandenen Schaufeln Platz findet. Dies erklärt die vereinfacht dargestellte, gekröpfte Form der Kassette. Im vorliegenden Fall umfasst der Oszillator 8 vier Piezoaktuatoren 12 bis 15, welche paarweise auf einer

10 Wirkungslinie liegen und quer zur Längsmittelachse X angeordnet sind. Es ist zu beachten, dass die Piezoaktuatoren – aufgrund der erforderlichen Schwingungsamplituden von mehreren Millimetern – Längen von mehreren Metern aufweisen können, wobei eine Vielzahl von Piezoelementen geometrisch in Reihe geschaltet, d.h. hintereinander angeordnet ist. Daher ist es günstig, die langen Piezoaktuatoren

15 12 bis 15 in der dargestellten Weise paarweise axial vorderhalb und hinterhalb des beschaukelten bzw. zu beschaukelnden Schaufelträgers 4 anzuordnen. Es sei angemerkt, dass die Reibschweißvorrichtung 1 sowohl für die Neuteilfertigung als auch für Reparaturzwecke (Instandsetzung), d.h. für den Ersatz einzelner oder weniger Schaufeln verwendbar ist. Die beiden vorderen Piezoaktuatoren 12, 13

20 werden synchron gesteuert in der Weise, dass sie immer unter Druckspannung an der Kassette 11 anliegen. Das gleiche gilt für die beiden hinteren Piezoaktuatoren 14 und 15. Es wird in aller Regel auch so sein, dass das vordere Aktuatorenpaar mit gleicher Frequenz wie das hintere Aktuatorenpaar betrieben wird. Bei Phasengleichheit und Amplitudengleichheit des vorderen und hinteren Aktuatoren-

25 paares führt die Schaufel 3 eine geradlinige, oszillierende Bewegung aus. Es gibt aber weiter die Möglichkeiten, ein Aktuatorenpaar relativ zum anderen mit unterschiedlicher Amplitude und/oder mit Phasenverschiebung zu betreiben, dies bei gleicher Frequenz. Für die Schaufel 3 hat dies zur Folge, dass Kombinationen aus translatorischen Bewegungen und Schwenkbewegungen bzw. reine Schwenk-

30 bewegungen um variable Drehpunkte möglich sind. Siehe hierzu den geraden und den gekrümmten Doppelpfeil über der Schaufel 3. Dies setzt eine entsprechend gelenkige Anbindung der Piezoaktuatoren 12 bis 15 an die Kassette 11 voraus. Durch lokal unterschiedliche Bewegungsformen und unterschiedliche Amplituden kann die eingebrachte Reibarbeit über die Scheißflächen variiert werden, z.B. in

35 dünnen Schaufelberiechen weniger Reibarbeit als in dicken, wodurch sich eine

gleichmäßigere Temperaturverteilung und letztlich ein besseres Schweißergebnis erzielen lässt.

Figur 4 zeigt eine Teilansicht des Schaufelträgers 4 mit Schaufel 3 in Umfangs-
5 richtung/Tangentialrichtung, wobei die Längsmittelachse X des Schaufelträgers 4
vertikal und rechts neben der eigentlichen Darstellung verläuft. Die hier verwendete
Reibschweißvorrichtung 2 unterscheidet sich von der voranstehend beschriebenen
Reibschweißvorrichtung 1 dadurch, dass ihr Oszillator 9 vier Paare von Piezo-
aktuatoren, das heißt acht Piezoaktuatoren umfasst, wobei die Darstellung nur die
10 vier Piezoaktuatoren 17 bis 20 zeigt, welche in der Ansicht vorderhalb der Kassette
11 angeordnet sind. Die Wirkungsebene der Piezoaktuatoren 17, 18 liegt relativ zur
Längsmittelachse X in einer größeren radialen Höhe H2 als die Wirkungsebene der
Piezoaktuatoren 19, 20, welche in der radialen Höhe H1 liegt. Bei Reibschweißver-
suchen hat sich gezeigt, dass Schaufeln trotz exakt radialer Ausrichtung in der
15 Kassette nach dem Anschweißen eine leichte, ungewollte Neigung in Umfangs-
richtung aufwiesen. Mit den gezeigten, höhenversetzten Aktuatorpaaren kann
während des Schweißvorganges eine gezielte kleine, entgegengesetzte Neigung der
Kassette 11 und der Schaufel 3 in Umfangsrichtung eingestellt werden, z.B. durch
geometrische Nullpunktsverschiebung der höheren Aktuatorpaare relativ zu den
20 niedrigeren Aktuatorpaaren, so dass am Ende des Schweißvorganges die
gewünschte Schaufelorientierung exakt gegeben ist. Die Stauchvorrichtung 10 mit
Piezoaktuator 16 kann wie in den vorhergehenden Figuren ausgeführt sein.

Die Bewegungsamplituden von Piezoaktuatoren liegen relativ-zur Aktuatorlänge im
25 Promillebereich. Um bei vorgegebenen Amplituden die Aktuatorlängen zu reduzieren,
kann man die Aktuatoramplituden mechanisch vergrößern, wobei unterschiedliche
Getriebemechanismen möglich sind. Figur 5 zeigt beispielhaft eine Blattfederan-
ordnung 22 für diesen Zweck. Zwei oder mehr Blattfedern sind an einem Ende fest in
eine statische Basis 25 eingespannt. Die anderen Enden der Blattfedern sind in ein
30 bewegliches Teil 24 eingebettet. Ein mit einem Piezoaktuator 21 verbundenes Zug-
/Druckelement greift an den Blattfedern im Bereich zwischen der Basis 25 und dem
Teil 24 an. Durch elastische Verformung der Blattfedern wird das Teil 24 mit
größerer Amplitude und gleicher Frequenz in Relation zum Zug-/Druckelement
bewegt. Durch Heranrücken des Zug-/Druckelementes an die Basis 25 lässt sich die
35 Bewegungsamplitude des Teils 24 vergrößern, bei Reduzierung der vom Teil 24

ausgeübten Kraft. Die Bewegung des Teils 24 ist dabei nicht exakt linear, da eine gewisse Schwenkbewegung überlagert ist. Die Kinematik ähnelt sehr stark einer Parallelogrammführung.

- 5 Wie bereits erwähnt, umfassen Piezoaktuatoren mit Amplituden im Millimeterbereich eine Vielzahl von Piezoelementen in geometrischer Reihenschaltung. Es kann sich durchaus um mehrere Hundert solcher Piezoelemente handeln. Da handelsübliche Piezoelemente im Querschnitt begrenzt sind, z.B. auf Münzgröße, kann es zur Erzielung großer Kräfte erforderlich sein, mehrere „Säulen“ von in Reihe geschalteten
- 10 Piezoelementen parallel anzuordnen und in einem z.B. rohrförmigen Aktuator zusammenzufassen. Figur 6 zeigt stark vereinfacht auf einer statischen Basis 26 zwei parallel angeordnete „Säulen“. Die beiden Säulen führen zu einem beweglichen Joch 27, das die gleiche Bewegungsamplitude wie jede der Säulen aufweist bei doppelter Druckkraft gegenüber einer einzelnen Säule. Selbstverständlich können auch mehr
- 15 als zwei parallelgeschalteter „Säulen“ in einem Aktuator zusammengefasst sein. Die geometrisch/konstruktive Reihen- bzw. Parallelschaltung darf nicht mit der elektrischen Schaltung der Piezoelemente verwechselt werden, wobei auch elektrisch Reihen- und Parallelschaltungen verwendet werden, letztere insbesondere um Spannungen zu begrenzen.

20

25

Patentansprüche

1. Reibschweißvorrichtung für das stoffschlüssige Verbinden von Bauteilen,
5 insbesondere für das Verbinden von strömungstechnisch wirksamen
Schaufeln mit scheiben- oder ringförmigen Schaufelträgern zur Herstellung
und Instandsetzung von integral beschauelten Rotorkomponenten für
Turbomaschinen, mit einem eine definierte periodische Bewegung eines
Bauteils und einer and diesem vorhandenen Schweißfläche relativ zu einem
10 anderen, während des Scheißens statisch gehaltenen Bauteil und einer and
diesem vorhandenen Schweißfläche mit Bewegungsrichtungen parallel zu den
Schweißflächen erzeugenden Oszillator, mit einer die Schweißflächen mit
definierter Kraft aufeinander drückenden Stauchvorrichtung und mit einer das
bewegte Bauteil außerhalb der Schweißzone aufnehmenden Kassette,
15 **dadurch gekennzeichnet**, dass der Oszillator (8, 9) zwei oder eine höhere
gerade Anzahl an Piezoaktuatoren (12 bis 15, 17 bis 20) umfasst, welche
paarweise zumindest annähernd auf einer Wirkungslinie liegen und unter
Druckerzeugung durch piezoelektrische Längenänderung von
gegenüberliegenden Seiten gegen die Kassette (11) vorspannbar und an ihren
20 kassettenseitigen Enden zusammen mit der Kassette (11) und dem Bauteil (3)
synchron oszillierend bewegbar sind.
2. Reibschweißvorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass
25 die Stauchvorrichtung (10) mindestens einen Piezoaktor (16) umfasst,
dessen Piezoelektrisch bewegbares Ende mit der Kassette (11) zur Einleitung
einer definierten Stauchkraft (F_s) senkrecht zu den Schweißflächen (5, 6)
koppelbar ist.
3. Reibschweißvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**,
30 dass zur Vergrößerung der relativ kleinen, linearen Bewegungen der
Piezoaktuatoren (21) mechanische Getriebe, wie z.B. Hebelmechanismen,
Blattfederanordnungen (22), Kurvengetriebe, Kulissensteuerungen oder
ähnliches vorhanden sind mit der Möglichkeit, größere Bewegungen mit
geraden und/oder gekrümmten Bahnen zu erzeugen.

4. Reibschweißvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, für das Verbinden von Schaufeln mit einem scheiben- oder ringförmigen Schaufelträger, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wirkungslinien der Piezo-
- 5 aktuatoren (12 bis 15) quer zur Längsmittelachse (X) des Schaufelträgers (4) verlaufen, dass ein Paar von Piezoaktuatoren (12, 13) auf einer Wirkungslinie axial vorderhalb der Schaufel (3) von gegenüberliegenden Seite am vorderen Ende der Kassette (11) angreift, und dass ein Paar von Piezoaktuatoren (14, 15) auf einer Wirkungslinie axial hinterhalb der Schaufel (3) von gegenüber-
- 10 liegenden Seiten am hinteren Ende der Kassette (11) angreift.
5. Reibschweißvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, für das Verbinden von Schaufeln mit einem scheiben- oder ringförmigen Schaufelträger, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wirkungslinien der Piezoaktuatoren (17
- 15 bis 20) quer zur Längsmittelachse (X) des Schaufelträgers (4) verlaufen, dass zwei Paare von jeweils auf einer Wirkungslinie liegenden Piezoaktuatoren (17, 19) in unterschiedlicher radialer Höhe (H1, H2) relativ zur Längsmittelachse (X) des Schaufelträgers (4) axial vorderhalb der Schaufel (3) von gegenüberliegenden Seiten am vorderen Ende der Kassette (11) angreifen, und
- 20 dass zwei Paare von jeweils auf einer Wirkungslinie liegenden Piezoaktuatoren (18, 20) in unterschiedlicher radialer Höhe (H1, H2) relativ zur Längsmittelachse (X) des Schaufelträgers (4) axial hinterhalb der Schaufel (3) von gegenüberliegenden Seiten am hinteren Ende der Kassette (11) angreifen.
- 25 6. Reibschweißvorrichtung nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das mindestens eine, am axial vorderen Ende der Kassette (11) angreifende Paar von Piezoaktuatoren (12, 13, 17, 19) in Relation zu dem mindestens einen, am axial hinteren Ende der Kassette (11) angreifenden Paar von Piezoaktuatoren (14, 15, 18, 20) mit gleicher Frequenz, mit gleicher
- 30 oder verschiedener Amplitude sowie phasengleich oder phasenverschoben bewegbar ist.
7. Reibschweißvorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die geometrischen Nullpunkte der Oszillationsbewegungen der beiden in

der Höhe (H1, H2) versetzten, am axial vorderen Ende der Kassette (11) angreifenden Paare von Piezoaktuatoren (17, 19) relativ zueinander verschiebbar sind, ebenso wie die geometrischen Nullpunkte der Oszillationsbewegungen der beiden in der Höhe (H1, H2) versetzten, am axial hinteren Ende der Kassette (11) angreifenden Paare von Piezoaktuatoren (18, 20).

- 5
8. Reibschweißvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kraft-/Wegverhalten der Piezoaktuatoren (12 bis 21) durch geometrische Reihen- und Parallelschaltung von Piezo-
- 10 elementen (23) gewählt ist.
9. Reibschweißvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der maximale elektrische Spannungsbedarf der Piezoaktuatoren (12 bis 21) durch elektrische Reihen- und Parallelschaltung
- 15 der Piezoelemente (23) begrenzt ist.

P 800 558

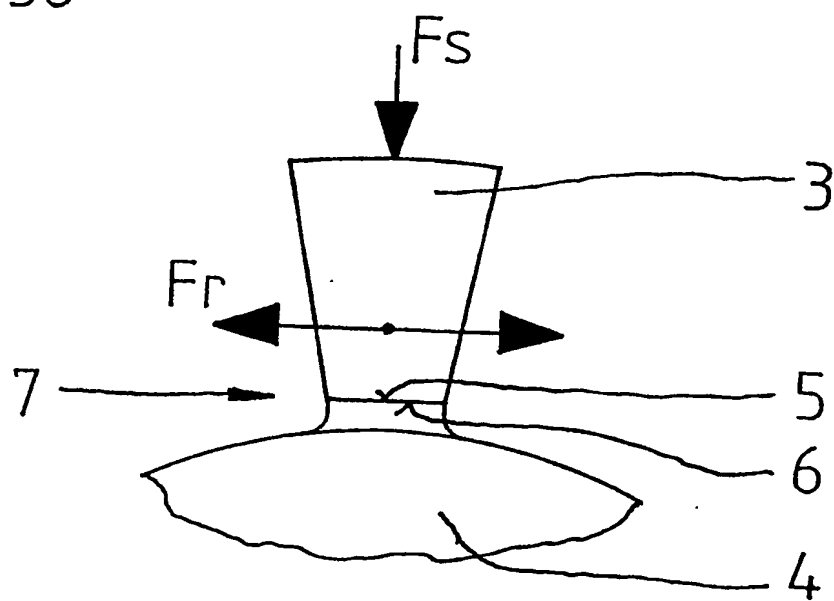


Fig. 1

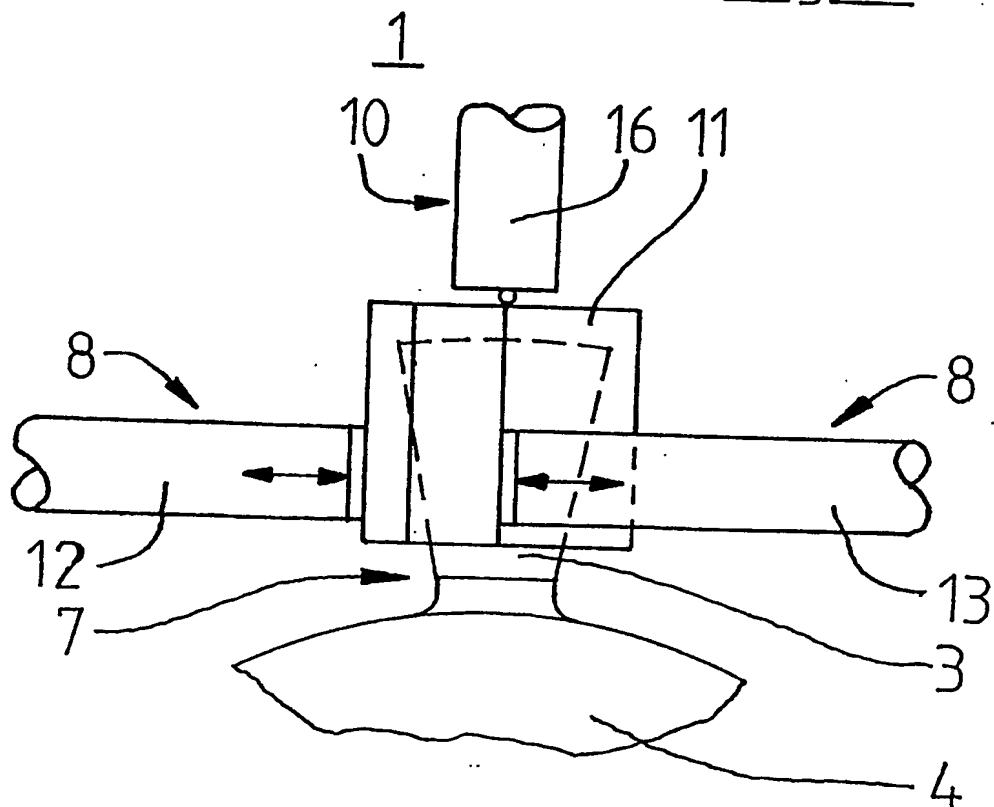


Fig. 2

P 800 558

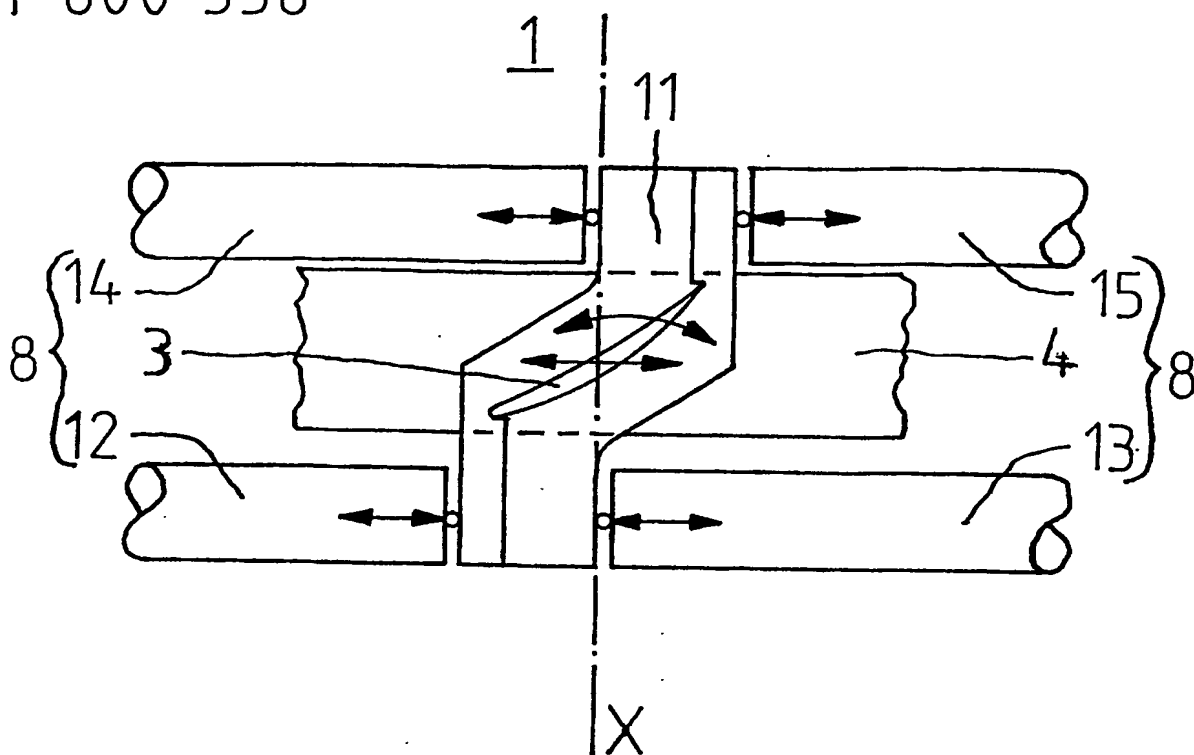


Fig. 3

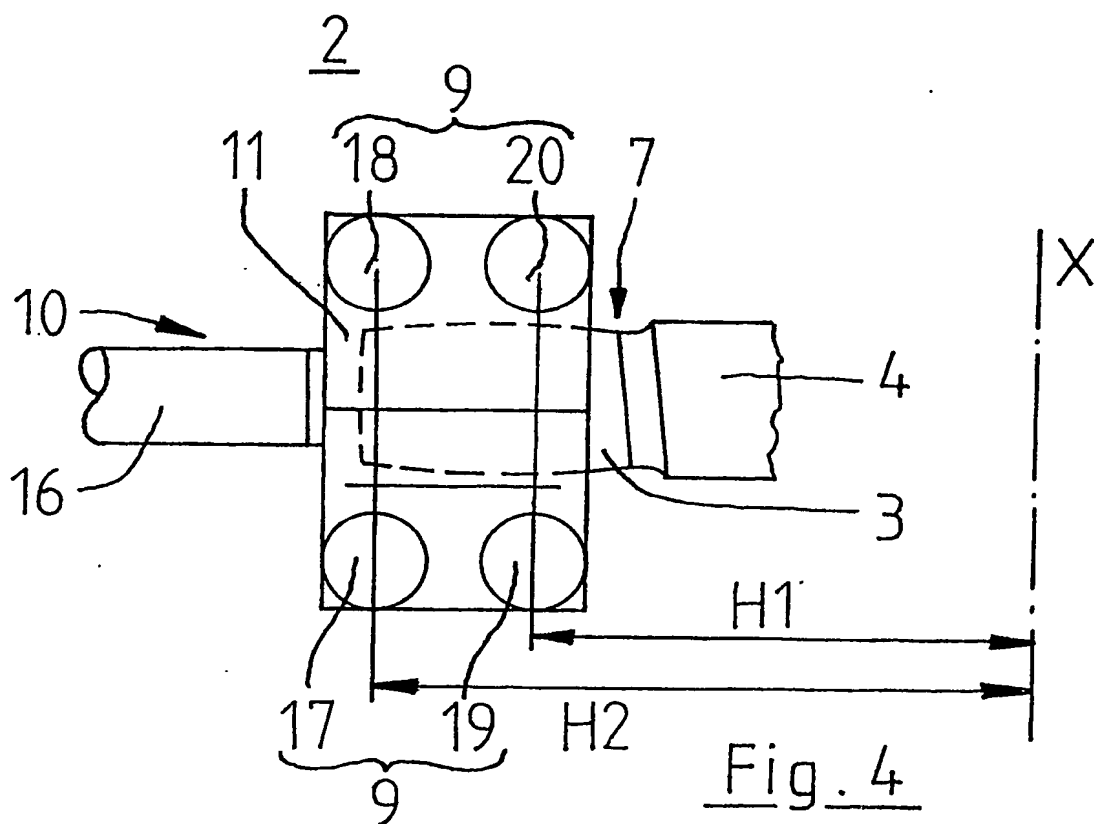


Fig. 4

P 800 558

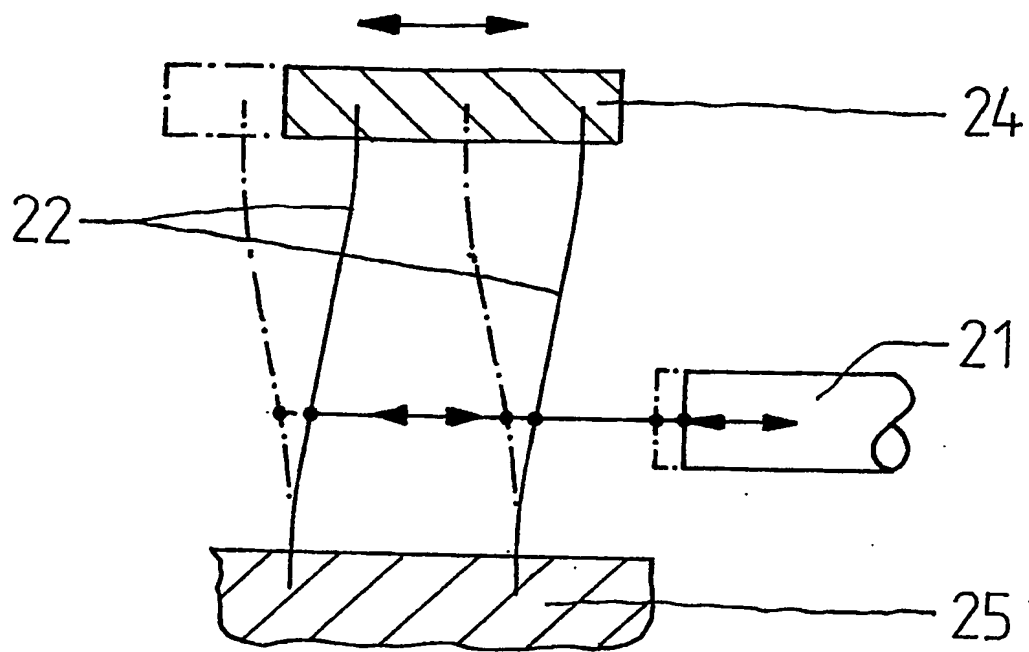


Fig. 5

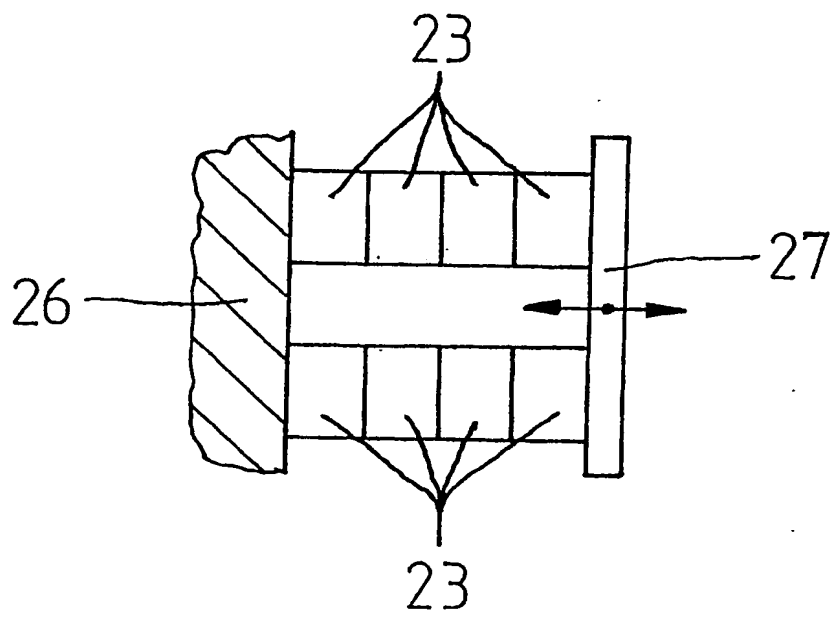


Fig. 6

Zusammenfassung

Reibschweißvorrichtung für das stoffschlüssige Verbinden von Bauteilen, mit einem eine periodische Bewegung eines Bauteils und einer an diesem vorhandenen

- 5 Schweißfläche relativ zu einem anderen, statischen Bauteil und einer an diesem vorhandenen Schweißfläche mit Bewegungsrichtungen parallel zu den Schweißflächen erzeugenden Oszillator, mit einer die Schweißflächen aufeinander drückenden Stauchvorrichtung und mit einer das bewegte Bauteil aufnehmenden Kassette.

10

Der Oszillator umfasst zwei oder eine höhere gerade Anzahl an Piezoaktuatoren, welche paarweise auf einer Wirkungslinie liegen und unter Druckerzeugung von gegenüberliegenden Seiten gegen die Kassette vorspannbar und mit dieser und dem Bauteil synchron oszillierend bewegbar sind.

- 15 (Fig. 2)

P 800 558

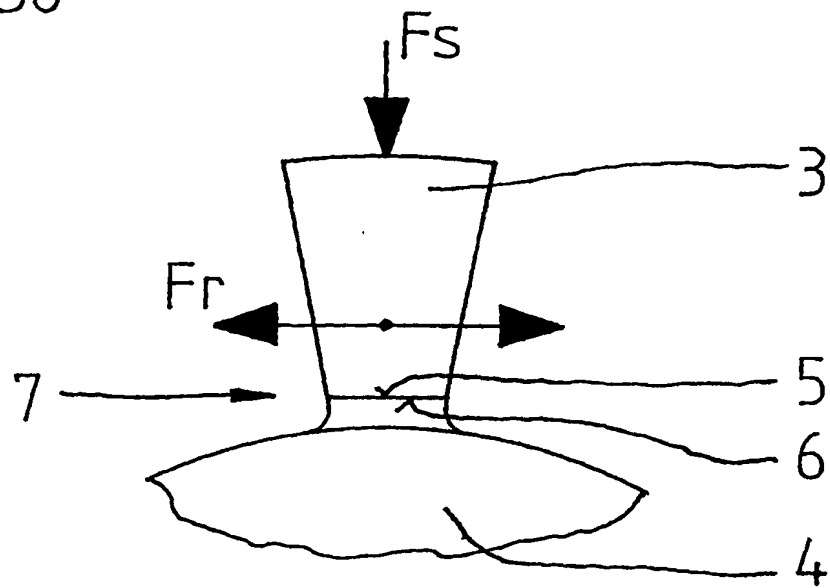


Fig. 1

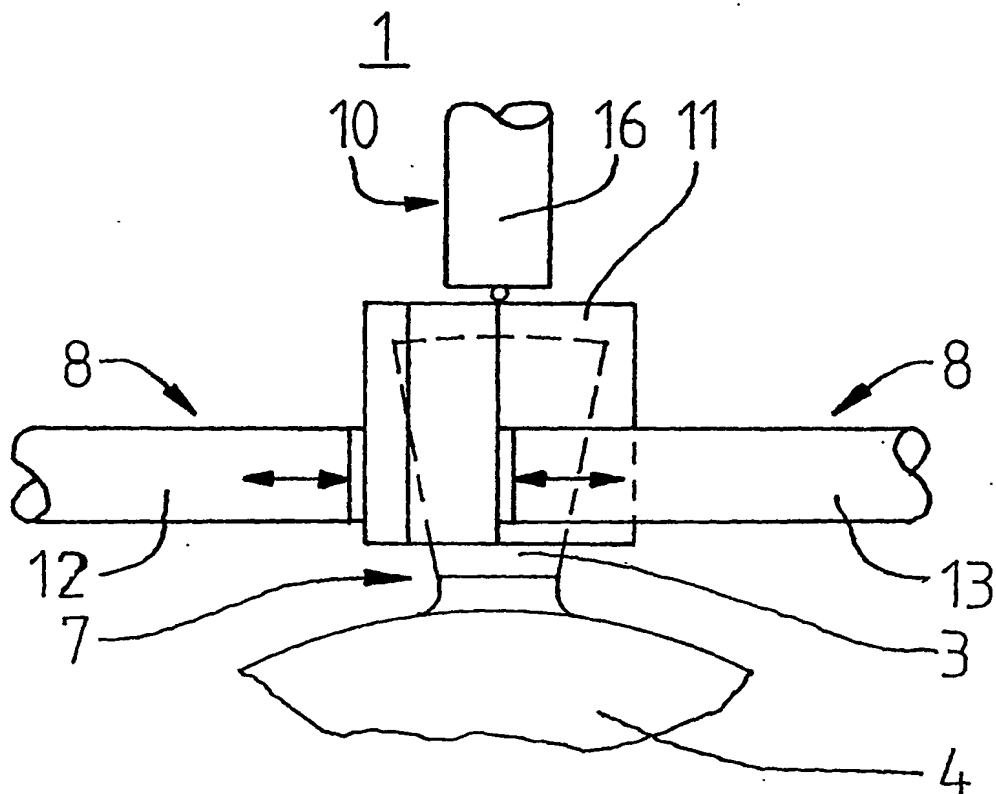


Fig. 2

This Page is inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLORED OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images
problems checked, please do not report the
problems to the IFW Image Problem Mailbox**